

PEMETAAN PENCEMARAN LINDI MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK 3 DIMENSI

Alfina Taurida Alaydrus¹⁾, Suhayat Minardi²⁾, dan Teguh Ardianto³⁾

^{1,2,3)} Program Studi Fisika, FPMIPA, Universitas Mataram
e-mail:-

ABSTRACT: One of the impacts of waste management is the presence of side-residual landfill waste that causes pollution potential of pollutants results in the form of decaying garbage leachate. This contamination occurs around the landfill Kebon Kongok impacting environmental degradation around the landfill area. To determine the extent to which and how the subsurface conditions around the landfill Kebon Kongok it will do the mapping and modeling using 3-dimensional (3D) geoelectrical method. The study was conducted on 3 pieces of lines are trending relative Southwest-Northeast. Each track has a length of 150m and retrieval of data using a dipole – dipole configuration-with spacing of 10m length. Resistivity measurements carried out with resistivitymeter GL-4100 GSound type and processed with software Res3Dinv. From the analysis it can be concluded that the entire study area has been contaminated by leachate pollution, especially in the surface layer to a depth of 13.9 meters.

Keywords: 3D geoelectric, contamination, leachate

ABSTRAK: Salah satu dampak dari pengelolaan sampah adalah adanya sisi-sisa timbunan sampah yang potensial menyebabkan polusi dari polutan hasil pembusukan sampah berupa lindi (*leachate*). Pencemaran ini terjadi di sekitar TPA Kebon Kongok yang berdampak penurunan kualitas lingkungan hidup di sekitar kawasan TPA. Untuk mengetahui sejauh mana dan bagaimana kondisi bawah permukaan di sekitar TPA Kebon Kongok maka akan dilakukan pemetaan dan pemodelan dengan menggunakan metode geolistrik 3 dimensi (3D). Penelitian dilakukan pada 3 buah lintasan yang berarah relatif Barat Daya – Timur Laut. Setiap lintasan mempunyai panjang 150 m dan pengambilan datanya menggunakan konfigurasi dipol–dipol dengan panjang spasi 10 m. Pengukuran resistivitas dilakukan dengan resistivitymeter GSound GL-4100 dan diolah dengan perangkat lunak Res3Dinv. Dari analisa dapat disimpulkan bahwa seluruh area penelitian sudah terkontaminasi oleh larutan lindi terutama pada lapisan permukaan hingga kedalaman 13,9 meter.

Kata kunci: geolistrik 3D, lindi, kontaminasi

PENDAHULUAN

Pengamatan rembesan lindi secara langsung sulit untuk diamati di bawah permukaan. Sejauh mana limbah tersebut akan mengalir dan seberapa cepat alirannya sehingga perlu dilakukan studi awal untuk penyelidikan masalah lingkungan ini. Sehingga nantinya akan mudah untuk mencari metode dan cara penanggulangan rembesan limbah cair yang dapat mengganggu keberadaan airtanah yang dikonsumsi secara langsung oleh masyarakat (Suhendra, 2006).

Menurut Slamet (1994), lindi (*leachate*) adalah cairan yang mengandung zat padat tersuspensi yang sangat halus dari hasil penguraian mikroba, biasanya terdiri atas Ca, Mg, Na, K, Fe, Klorida, Sulfat, Fosfat, Zn, Ni, CO₂, H₂O, N₂, NH₃, H₂S, Asam organik dan H₂, tergantung dari kualitas sampah, maka di dalam lindi biasanya pula terdapat mikroba

pathogen, logam berat dan zat lainnya yang berbahaya.

Lindi atau polutan sampah diketahui mempunyai konduktivitas yang berbeda dengan air tanah. Menurut hasil penelitian yang dilakukan beberapa peneliti sebelumnya, menunjukkan bahwa polutan ini mempunyai konduktivitas yang lebih tinggi daripada air tanah. Dengan demikian nilai resistivitas polutan ini lebih rendah daripada airtanah. Berdasarkan sifat inilah bisa dilakukan penelitian untuk mengetahui letak akumulasi rembesan polutan cair di sekitar TPA dengan memanfaatkan perbedaan resistivitas maupun konduktivitas tersebut (Parlingoman, 2011).

Project Geofisika yang dilakukan oleh Tecno Inc. (1991) tentang investigasi aliran lindi menunjukkan kisaran minimum nilai konduktivitas pada daerah yang mengandung polutan sebesar 48 mS/m. Jorstadet al.,

(dalam Triantafyllis, 2011) mendeskripsikan nilai minimum konduktivitas lindi sebesar 45,5 mS/m dan nilai maksimumnya adalah 142,9 mS/m. Selanjutnya Lebede dan Bilderback (2009), menggunakan acuan kisaran nilai konduktivitas 50-200 mS/m dalam mengatur dan *monitoring* keberadaan nutrisi. Kisaran nilai konduktivitas lindi yang digunakan Bilderback dan Lebede ini merupakan standar dari BMP (Best Management Practice) dan VTEM PT (Virginia Tech Extraction Methods Pour Through).

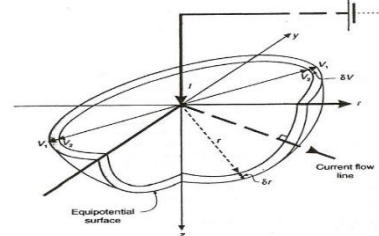
Penggunaan metode geolistrik untuk memantau terjadinya rembesan limbah cair pernah dilakukan pada skala laboratorium oleh Ngadimin dan Handayani (2000). Pemodelan ini berhasil memperkirakan penyebaran kontaminan berbentuk cair dalam tanah yang diasosiasikan sebagai fluida konduktif yang rembesan limbah yang dapat mencemari airtanah.

Metode geolistrik resistivitas telah digunakan untuk karakterisasi polusi di lahan umum dan swasta untuk mendukung perencanaan investasi dan rehabilitasi perkotaan dan lingkungan pertanian, membantu untuk meminimalkan dampak buruknya terhadap kesehatan masyarakat. Studi tersebut merupakan simulasi polusi tanah menggunakan pendekatan terpadu untuk memantau transportasi zat terlarut ke bawah permukaan dengan menggunakan metode geofisika modern (Serefu dkk., 2012).

Lokasi penelitian merupakan lokasi TPA (Tempat Pembuangan Akhir) yang menggunakan sistem *saintary landfill* (Alaydrus, 2010). Dengan sistem ini, bongkaran sampah diratakan dan dipadatkan kemudian ditimbun dengan tanah urug. Sistem ini dilengkapi dengan pipa-pipa pembuangan gas metan untuk membantu penguraian sampah oleh bakteri. Walaupun demikian, masih ada sisa-sisa sampah pada lokasi tersebut yang tidak melalui proses tersebut dan menumpuk. Akibatnya sampah tersebut menghasilkan lindi dan akan mencemari lingkungan sekitar lokasi tersebut.

Untuk mengetahui perilaku polutan lindi pada lokasi penelitian sehingga dampaknya dapat diminimalisir bagi masyarakat sekitar, maka perlu ada penggambaran bawah permukaan dan mengetahui arah penyebaran polutan lindi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana dan bagaimana kondisi bawah permukaan di sekitar TPA Kebon Kongok maka akan dilakukan pemetaan dan pemodelan dengan menggunakan metode geolistrik 3 dimensi (3D).

Metoda geolistrik adalah salah satu metode dalam geofisika yang menggunakan sifat kelistrikan sebagai sarana untuk mengenali kondisi di bawah permukaan bumi. Apabila ada arus listrik dengan sumber tunggal dialirkan ke bawah permukaan bumi maka arah aliran arus listrik adalah menyebar ke segala arah dalam suatu ruang berbentuk setengah bola.



Gambar 1 Arah aliran arus listrik dan medan ekuipotensial pada bentuk setengah bola (Reynolds, 1997).

Pada gambar 1, beda potensial (∂V) pada kulit bola tersebut untuk lapisan setebal ∂r adalah:

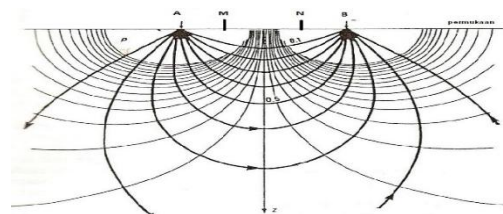
$$\frac{\delta V}{\delta r} = -\rho \cdot J$$

$$= -\rho \frac{1}{2\pi r^2}$$

$$V_r = \int \delta V = - \int \rho \frac{1}{2\pi r^2} \delta r = \frac{\rho I}{2\pi r}$$

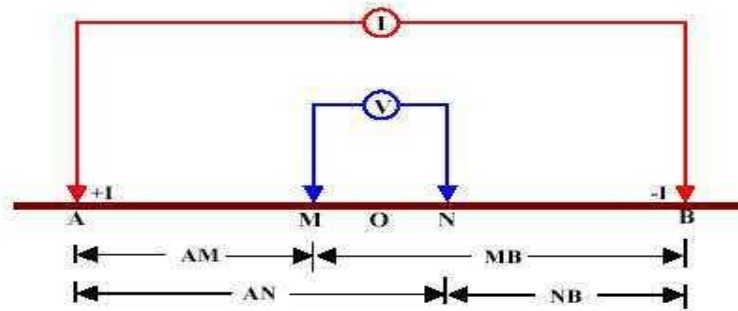
Dengan demikian apabila dialirkan arus dari pusat setengah bola tadi, maka tegangan (V) pada titik r dari sumber arus adalah :

Jika terdapat dua sumber arus listrik, dengan arah arus listrik dari A menuju B dan maka medan ekuipotensialnya terlihat pada gambar 2.



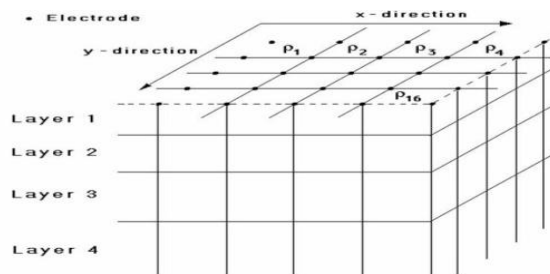
Gambar 2 Garis arus listrik dan medan potensial yang timbul karena adanya dua sumber arus (Reynolds, 1997)

Untuk mempermudah perhitungan beda yang terlihat pada Gambar 3. potensial, maka Gambar 2 digambarkan seperti

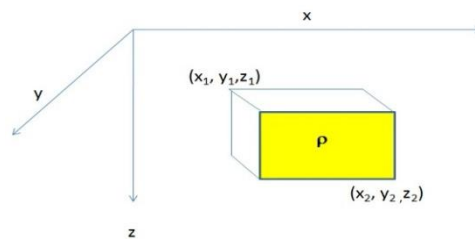


Gambar 3. Pasangan elektroda arus dan potensial yang umum digunakan dalam survei resistivitas (modifikasi dari Reynolds, 1997).

Pada model geolistrik 3-D, lapisan batuan bumi diasumsikan sebagai blok-blok berdimensi 3 dan tidak lagi merupakan medium yang berlapis-lapis sebagaimana dalam gelistrik 1-D dan 2-D.



Gambar 4 Model blok untuk perhitungan tahanan jenis semu pemodelan 3-D (Loke, 1996)



Gambar 5 Blok model pada pemodelan geolistrik 3-D

Apabila arus mengalir pada titik C dengan koordinat (0,0,0) kemudian potensial dibaca di suatu titik misalnya titik P dengan koordinat (a,b,0) maka perubahan potensial yang disebabkan perubahan tahanan jenis pada setiap blok tersebut dihitung menggunakan gambar 5 dengan persamaan 6 (Loke dan Barker, 1996)

$$\frac{\partial \phi}{\partial \rho} \approx \frac{VI}{4\pi^2} \sum_{k=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{i=1}^{n_i} f_i f_j f_k \frac{u(u-\alpha) + v(v-\beta) + w^2}{(u^2 + v^2 + w^2)^{3/2} [(u-\alpha)^2 + (v-\beta)^2 + w^2]^{3/2}}$$

Dengan

$$u = (2x - x_1 - x_2)/(x_1 - x_2), v = (2y - y_1 - y_2)/(y_1 - y_2),$$

$$w = (2z - z_1 - z_2)/(z_1 - z_2), \alpha = (2a - x_1 - x_2)/(x_1 - x_2)$$

$$\beta = (2b - x_1 - x_2)/(x_1 - x_2),$$

$$V = 0,125(x_1 - x_2)(y_1 - y_2)(z_1 - z_2)$$

Pemodelan inversi juga dilakukan menggunakan persamaan umum inversi

$$(J_i^T J_i + \lambda_i C^T C) p_i = J_i^T g_i$$

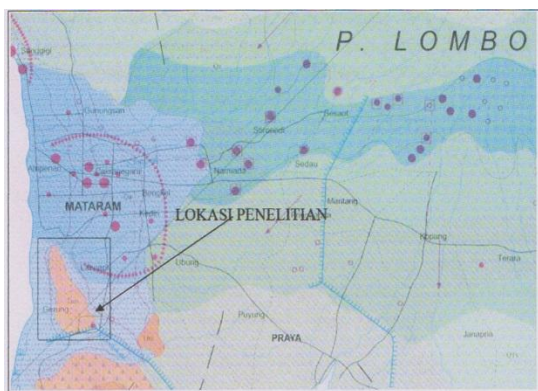
Dimana

i adalah iterasi, J adalah matriks turunan partial Jacobi, g adalah vektor dikoreksi yang berisi perbedaan antara logaritma nilai tahanan jenis yang terukur dan terhitung, λ adalah faktor damping dan p_i adalah vektor perturbasi untuk parameter model pada iterasi ke i dan C adalah flatness filter.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di TPA Kebon Kongok, Desa Suka Makmur, Kecamatan Gerung, Kabupaten Lombok Barat.

Dalam penelitian ini pengukuran geolistrik dilakukan pada tiga buah lintasan yang arahnya relatif sejajar dengan arah Barat Daya – Timur Laut.



Gambar 6 Lokasi penelitian (tidak berskala) (Ridwan dan Purwanto, 2000)

Peralatan yang dipergunakan dalam survey menggunakan metode Geolistrik ini adalah : Satu unit peralatan Resistivity Meter G-Sound (GL-4100), *Microsoft Excel*, dan *Software Res3divn*. Pengukuran dilakukan tanggal 8 – 10 November 2013 dalam kondisi cuaca hujan. Konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi dipol-dipol. Kondisi lintasan pengukuran adalah

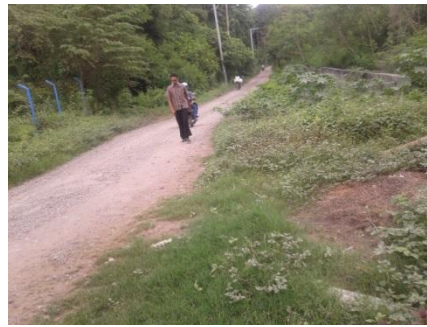
dataran dan tebing yang berbatasan tempat pembuangan sampah. Lintasan 3 berada di jalan anah yang merupakan jalur lalu lintas di sebelah tempat pembuangan sampah tersebut. Keadaan lintasan pengukuran diperlihatkan pada Gambar berikut ini:



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Keadaan lintasan pengukuran geolistrik (a) Lintasan 1; (b) Lintasan 2; dan (c) Lintasan 3



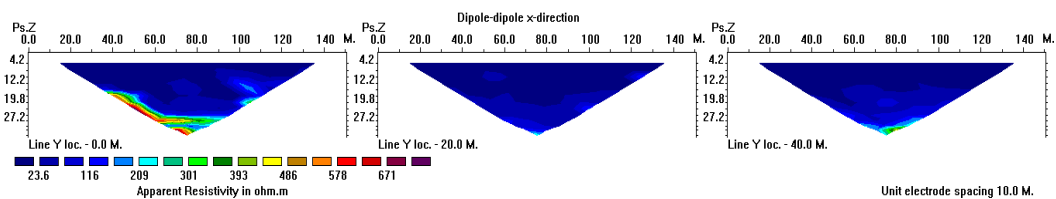
Gambar 8 Proses pengukuran geolistrik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai konduktivitas batuan yang sudah terkontaminasi cairan lindi relative lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan yang terisi air tawar atau dengan kata lain nilai resistivitas relatif lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh karena lindi (*leachate*) adalah cairan yang mengandung zat padat tersuspensi yang sangat halus dari hasil penguraian mikroba, biasanya terdiri atas Ca, Mg, Na, K, Fe, Klorida, Sulfat,

Fosfat, Zn, Ni, CO_2 , H_2O , N_2 , NH_3 , H_2S , Asamorganik dan H_2 , tergantung dari kualitas sampah, maka di dalam lindi biasanya pula terdapat mikroba patogen, logam berat dan zat lainnya yang berbahaya.

Hasil pengukuran nilai resistivitas semu pada ketiga lintasan mencapai kedalaman sekitar 30 meter sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Sebaran nilai resistivitas semu pada ketiga lintasan

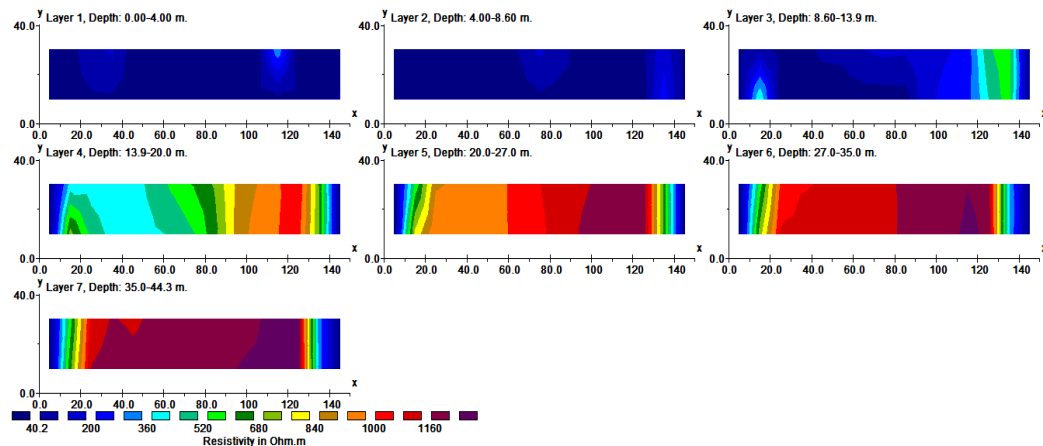
Dari ketiga lintasan ini terlihat bahwa nilai resistivitas semu pada lapisan yang dangkal relatif lebih rendah dibandingkan pada lapisan dalam. Resistivitas semu terendah (23,6 ohm.m) mendominasi hampir seluruh lapisan sampai kedalaman 12,5 meter, ini menunjukkan bahwa sampai kedalaman tersebut seluruh porinya sudah terisi oleh lindi, bahkan pada lintasan 2 lindi sudah mencemari seluruh lapisan yang yang terukur.

Lintasan 1 dan lintasan 3 menunjukkan adanya lapisan yang mempunyai nilai resistivitas semu yang relatif tinggi dan nilainya sangat bervariasi berkisar (216 – 671) ohm.m. Pada lintasan 1 pada kedalaman sekitar (15 – 28) meter nilai resistivitas semunya relatif tinggi kemudian disisipi lapisan dengan nilai resistivitas semu rendah pada kedalaman (28 – 30) meter dan dilapisi lapisan resistivitas semu tinggi lagi. Kemungkinan ini terjadi

karena adanya lapisan penutup yang kedap dan mengikat air tawar, misalnya tanah lempung. Pada lapisan 3 kemunculan lapisan yang mempunyai nilai resistivitas semu relatif tinggi pada kedalaman lebih dari 30 meter diakibatkan oleh infiltrasi air sungai karena lintasan 3 ini sejajar dengan sungai dan lokasinya paling dekat dengan sungai.

Hasil pemodelan inversi nilai resistivitas semu menghasilkan distribusi lapisan dan nilai resistivitas yang

menghasilkan peta distribusi nilai resistivitas semu. Kelebihan dari metode geolistri 3 dimensi (3D) ini adalah hasil pemodelannya dapat dipisahkan pada arah vertikal dan horizontalnya dalam bentuk sayatan pada kedalaman tertentu. Hasil sayatan pada beberapa kedalaman menggambarkan lapisan dengan ketebalan dan kedalaman tertentu dan distribusi nilai resistivitas sesungguhnya diperlihatkan pada Gambar 10.

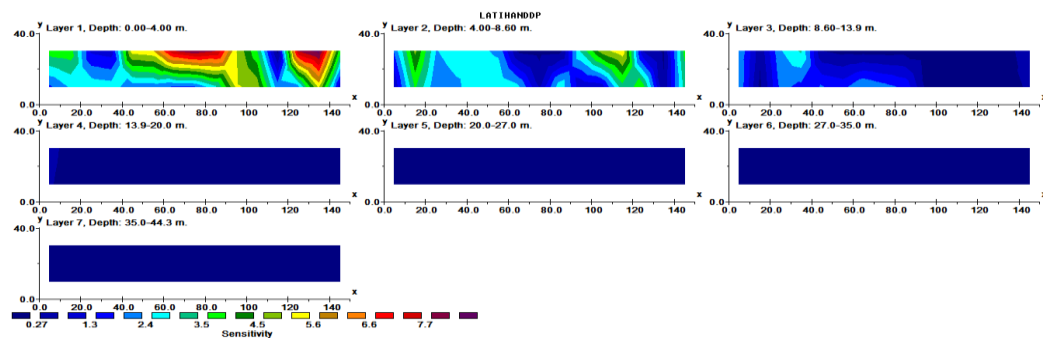


Gambar 10 Hasil pemodelan inversi 3D

Pada kedalaman hingga 8,6 meter, didominasi oleh lapisan yang mempunyai resistivitas kurang dari 200 ohm.m, hal ini menunjukkan bahwa lapisan sudah terkontaminasi oleh lindi seluruhnya. Hal ini dapat saja terjadi karena lapisan ini relatif dekat dengan permukaan tanah, sehingga air hujan dengan cepat membasahi lapisan sampah dan melarutkan zat-zat kimia yang terkandung dalam sampah dan menyebar dengan cepat pada lapisan ini. Pada kedalaman (8,6 – 13,9) m pengaruh kontaminasi lindi sedikit berkurang, ini ditunjukkan dengan adanya bagian lapisan yang mempunyai nilai resistivitas yang lebih besar dari 200 ohm.meter dan nilai resistivitas hampir 600

ohm.m. Kelompok berikutnya adalah kelompok yang sedikit atau belum terkontaminasi oleh lindi.

Pada kelompok ini, lindi terlihat hanya terdeteksi pada bagian tepi dari area survey pada kedalaman (13,9 – 44,3) m. Ini menunjukkan bahwa pada lapisan ini sebagian atau seluruh bagian medium pada kedalaman ini belum terkontaminasi oleh lindi. Hal ini bisa terjadi akibat efek tepi dari pengolahan data yang memunculkan resistivitas dengan nilai relatif rendah (kurang dari 200 ohm.m). Efek tepi ini timbul karena sensitivitas metode ini berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman. Sebaran dari nilai sensitivitas metode dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Sensitivitas metode geolistrik 3D konfigurasi dipol-dipol

Dari gambar 11 tersebut, sensitivitas metode bernilai minimum mulai pada kedalaman 13,9 meter, ini berarti tingkat kepercayaan data mulai kedalaman 13,9 meter mulai berkurang.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa seluruh area penelitian sudah terkontaminasi oleh larutan lindi terutama pada lapisan permukaan hingga kedalaman 13,9 meter. Untuk mendapatkan air tawar yang belum terkontaminasi oleh lindi, maka dapat diambil dari sumur dengan kedalaman lebih dari 14 meter dan akan lebih baik lagi kalau dibuat sumur di seberang sungai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai dengan Dana DIPA BLU Universitas Mataram Tahun Anggaran 2013 Nomor : 663D/SP-BLU/UN18.12.2/PL/2013, oleh karenanya Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Proyek DIPA BLU Universitas Mataram.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaydrus, A. T., 2010, *Penentuan Penyebaran Lindi Pada Bawah Permukaan dengan Metode Geolistrik Di TPA Kebon Kongok, Gerung, Lombok Barat*. Tesis, Program Studi Ilmu Fisika Fakultas MIPA, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Jorstad, L. B., 2006, *Analysis of variation in inorganic contaminant concentration and distribution in a landfill leachate plume: Astrolabe Park, Sydney, Australia*, PhD Thesis, The University of New South Wales, Sydney
- Lebude, A.V., and T.E Bilderback., 2009, *A Nutrient Management Tool for Nursery Crops*, Raleigh, North Carolina Cooperative Extension.
- Loke, M.H., Barker R.D., 1996. *Practical Techniques for 3D Resistivity Surveys and Data Inversion*, **Geophysical Prospecting**, 1996, 44, p. 449 – 523
- Ngadimin dan Handayani G., 2000, *Aplikasi Metode Geolistrik untuk Alat Monitoring Rembesan Limbah*, **Journal of Mathematical Science**, Vol. 2, No. 6
- Parlinggoman, R. H., 2011, *Studi Sebaran Air Limbah Sampah Bagian Utara TPA Bantar Gebang Dengan Metode Resistivity Wenner-Schlumberger*, Skripsi, Universitas Indonesia

- Reynolds J.M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Willey and Sons Ltd., England
- Ridwan, T. Dan Purwanto S., 2000, *Peta Hidrogeologi Pulau Lombok dan Sumbawa Barat*, Dinas Pertambangan dan Energi Propinsi Nusa Tenggara Barat, Mataram
- Slamet, J. S., 1994, *Kesehatan Lingkungan*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Serefu, P., P. Soupios, E. Candasayar, N. Papadopoulos, a. Sarris, dan H. Aktarakci, 2012, *Monitoring of Contaminant Transport by Using Geoelectrical Resistivity Tomography*, Proceeding 3rd International Conference on Industrial and Hazardous Waste Management , Crete
- Suhendra, 2006, *Pencitraan Konduktivitas Bawah Permukaan dan Aplikasinya untuk Identifikasi Penyebaran Limbah Cair Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis 2 D*, Jurnal Gradien, Vol.2 No.1 Januari 2006, pp. 105-108.